

**ЭВОЛЮЦИЯ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА ZR-1NB ПОСЛЕ
ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ**А.Д. Ломыгин, К.Д. Уразова

Научный руководитель: Ю.С. Бордулев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: lomyginanton141@gmail.com

**EVOLUTION OF THE ZIRCONIUM ALLOY ZR-1NB DEFECT STRUCTURE AFTER COLD
ROLLING**A.D. Lomygin, K.D. Urazova

Scientific Supervisor: Yu.S. Bordulev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: lomyginanton141@gmail.com

***Abstract.** Zirconium alloys are actively used in nuclear power engineering. During the operation of these alloys, it is necessary to know the change in structural, mechanical and physical characteristics when using material in corrosive environments. In this regard, it is necessary to study the occurrence of certain defects in the material and their effect. Such defects include dislocations. This study is aimed to study the processes of the appearance and distribution of dislocations in a material by positron annihilation spectroscopy. As a result of this work, the lifetime of positrons in the dislocation of zirconium was determined and the character of dislocation distribution at different degrees of deformation was presented.*

Введение. Циркониевые сплавы являются основным конструкционным материалом для элементов активных зон ядерных реакторов. Сплавы циркония, такие как Zr-1Nb (Э110) Zr-2,5Nb (Э125), используются при изготовлении оболочек ТВЭЛов, топливных каналов, направляющих трубок, топливных контейнеров. Данные изделия в процессе эксплуатации подвергаются воздействию различных факторов, приводящих в деградации сплавов и накоплению дефектов. Для понимания сложных дефектов необходимо понять образование простых дефектов, таких как вакансии, вакансионные кластеры, дислокации.

На сегодняшний день одним из перспективных методов исследования и контроля структурных дефектов в системах металл-водород являются методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА) [1]. Время жизни позитронов в бездефектной решетке и вакансии циркония известно и составляет 165 ± 5 и 252 ± 5 пс [2], соответственно. Однако, характеристики позитронной спектроскопии в дислокациях циркония до сих пор не были определены.

Следовательно, **целью** данной работы является позитронная спектроскопия эволюции дефектной структуры циркониевого сплава Э110 после холодной прокатки.

Материалы и методы. В ходе эксперимента был использован циркониевый сплав Zr-1Nb (Э110). Образцы были отожжены в вакууме в течении 54 часов при температуре 854°C с целью достижения бездефектной структуры [2]. Далее образцы были подвергнуты пластической деформации методом

холодной прокатки для создания линейных дефектов типа «дислокация». Прокатка проводилась в 3 режимах: 2%, 5% и 10% деформации. Для определения времени жизни позитронов были набраны спектры времени жизни позитронов для каждого уровня деформации и для бездефектного образца. Спектрометрия времени жизни позитронов (СВЖП) основана на измерении отрезка времени между двумя событиями: рождением и аннигиляцией позитронов. Для повышения достоверности полученных результатов, данные образцы были также исследованы методами доплеровского уширения аннигиляционной линии позитронов (ДУАЛ), рентгеноструктурным анализом (РСА) и просвечивающей электронной микроскопией (ПЭМ). В методе РСА спектры были обчислены методом Ритвельда и определены микронапряжения для всех образцов.

Результаты. Зависимость среднего времени жизни позитронов от уровня деформации и микронапряжений представлена на Рисунке 1. Из представленных данных видно, что значение, как времени жизни, так и микронапряжений резко возрастает при 2% деформации и продолжает расти при 5 % деформации. Это является ожидаемым результатом, т.к., согласно теории методов позитронной аннигиляции, увеличение плотности дефектов путем деформации увеличивает вероятность захвата позитрона дислокацией, тем самым увеличивая среднее время жизни. Однако, можно заметить, что дальнейшее увеличение значения деформации приводит к снижению среднего времени жизни позитронов. Далее спектры времени жизни позитронов были разложены на 2 компоненты с применением стандартной модели захвата. Интенсивность данной компоненты имеет ту же динамику, что и среднее время жизни позитронов, достигая максимума (88 %) при уровне деформации 5 % и снижаясь при 10%, что видно из Рисунка 2.

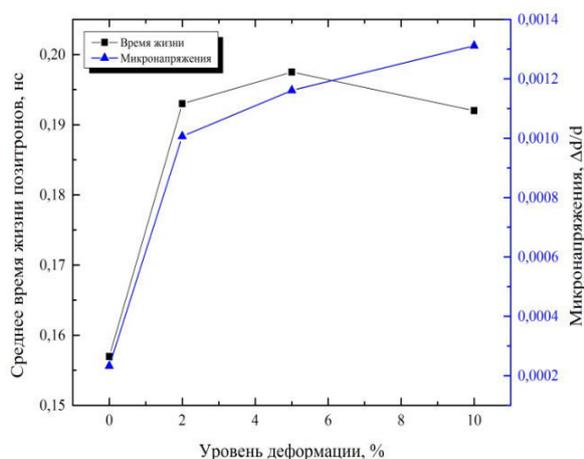


Рис. 1. Зависимость среднего времени жизни позитронов и микронапряжений от уровня деформации циркониевого сплава Э110

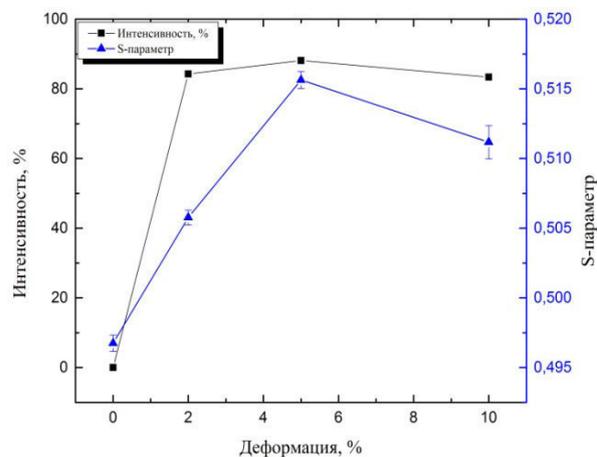


Рис. 2. Зависимость интенсивности компоненты дислокаций и S - параметра от уровня деформации циркониевого сплава Э110

Это снижение является свидетельством процесса формирования т.н. «дислокационных ячеек», которое было обнаружено при высоких степенях деформации металлов.

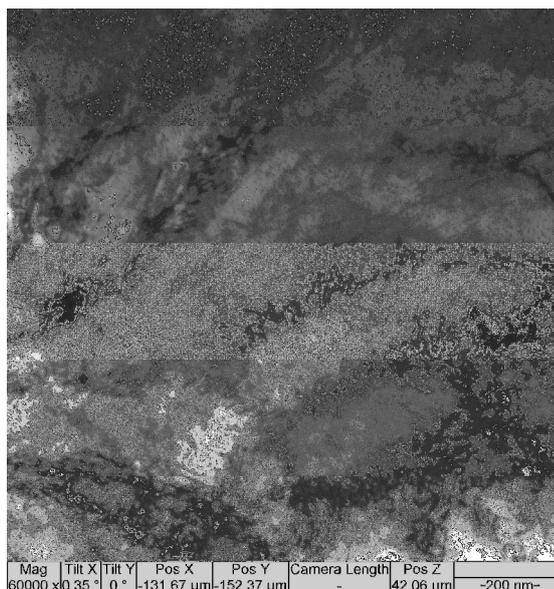


Рис. 3. Дислокационные ячейки в циркониевом сплаве Э110 при 10% деформации

Фотография полученной структуры, сделанная на ПЭМ представлена на Рисунке 3. Данные «ячейки» представляют собой дислокационно-обогащенные границы и практически бездефектные внутренние области. При формировании подобной структуры с размером ячеек превышающим длину диффузии позитрона (около 100 мкм), вероятность аннигиляции позитронов с дефектом снижается (несмотря на то, что плотность дефектов растет), что снижает как среднее время жизни, так и интенсивность дефектной компоненты. Метод же РСА, имеет гораздо большую площадь анализа, чем длина диффузии позитрона, соответственно, как видно из Рисунка 1, увлечение плотности дислокаций ведет к увеличению микронапряжений, несмотря на формирование дислокационных ячеек. Метод ДУАЛ, являясь методом позитронной спектроскопии, подтверждает сделанное выше заключение.

Заключение. В результате данной работы была изучена дислокационная структура сплава Zr-1Nb (Э110) после холодной прокатки. Был обнаружен процесс формирования «дислокационных ячеек», образующихся при высоких степенях деформации (10%). В результате была впервые выделена компонента времени жизни позитрона в дислокациях, составившая 217 пс, что незначительно превышает время жизни позитронов в дислокационной петле (215 пс) [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Графутин В.И., Графутин Е.П. Прокопьев. Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения строения вещества//Приборы и методы исследований. – 2002. – Т. 172. – № 1.
2. Campillo Robles J.M., Plazaola F. Trans Tech Publications . Collection of Data on Positron Lifetimes and Vacancy Formation Energies of the Elements of the Periodic Table 2003; Vols 213-215 ; 141-0.